

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

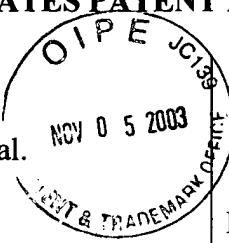
In re Application of:

Timothy GRIFFIN et al.

Application No.: 10/662376

Filing Date: 16 September 2003

Title: METHOD FOR GENERATING STEAM,  
IN PARTICULAR ULTRAPURE  
STEAM, AND STEAM GENERATOR



Art Unit: [to be assigned]

Examiner: [to be assigned]

Atty. Docket: 003-078

**CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. § 119**

Commissioner For Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Priority under 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed to the following priority document(s), filed in a foreign country within one (1) year prior to the filing of the above-referenced United States utility patent application:

Country	Priority Document Appl. No.	Filing Date
DE	102 43 250.3	17 September 2002

A certified copy of each listed priority document is submitted herewith. Prompt acknowledgment of this claim and submission is respectfully requested.

Respectfully submitted,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Adam J. Cermak".

Adam J. Cermak  
Reg. No. 40,391

**U.S. P.T.O. Customer Number 36844**  
Law Office of Adam J. Cermak  
P.O. Box 7518  
Alexandria, VA 22307

# **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

10/662,376



# Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 43 250.3

**Anmeldedag:** 17. September 2002

**Anmelder/Inhaber:** ALSTOM (Switzerland) Ltd, Baden/CH

**Bezeichnung:** Verfahren zum Erzeugen von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf sowie Dampferzeuger

**IPC:** F 22 B 27/00

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 27. Juni 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

*Jur*

5

**Verfahren zum Erzeugen von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasser-  
dampf sowie Dampferzeuger**

**TECHNISCHES GEBIET**

15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf, durch Reaktion eines stöchiometrischen Gemischs aus einem wasserstoffhaltigen Brennstoff und einem Oxidator in einer Brennkammer und Eindüsen von Wasser in die heissen Reaktionsgase. Die Erfindung betrifft darüber hinaus einen Dampferzeuger zum Erzeugen von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf.

**STAND DER TECHNIK**

25 In zahlreichen technischen Anwendungsgebieten besteht ein Erfordernis zur Bereitstellung von Wasserdampf mit unterschiedlichen Temperatur- und Druckparametern.  
Für eine Reihe von Anwendungsfällen in der Medizintechnik, der Lebensmitteltechnologie oder der experimentellen Physik oder Chemie besteht dabei ein Be-

dürfnis nach der Bereitstellung von Dampf höchster Reinheit innerhalb eines sehr weiten Temperatur- und Druckbereichs.

Neben der herkömmlichen Methode der Wasserdampferzeugung durch Sieden und Verdampfen von Wasser mit nachfolgender Überhitzung ist es ausserdem

5 bekannt, ein stöchiometrisches Gemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff in einer Brennkammer zu verbrennen und in das heisse Reaktionsgas Wasser einzudüsen und dabei zu verdampfen. Auf diese Weise kann im Vergleich zu den herkömmlichen Verdampfungsmethoden sehr heisser Dampf bei sehr hohen Drücken innerhalb eines bis zu theoretisch 3000 K und bis zu mehreren 100 bar reichenden Spektrums hergestellt werden.

10 Im Hinblick auf die Reinheit des erzeugten Dampfes sind dieser Technologie, wie sie beispielsweise in DE 3512947 und DE 3936806 offenbart ist, allerdings

Grenzen gesetzt. Die Bereitstellung von Dampf höchster Reinheit setzt nach diesem Verfahren eine praktisch vollständige Umsetzung der an der Reaktion beteiligten Ausgangsstoffe Wasserstoff und Sauerstoff voraus. Hierbei wirkt sich jedoch negativ aus, dass in Anbetracht der sehr hohen Reaktionstemperaturen

15 das zusätzliche Wasser direkt in die Brennkammer eingedüst werden muss und dabei zu lokalen Störungen des Verbrennungsvorgangs führt, so dass die Umsetzung der Ausgangsstoffe nicht vollständig abläuft und der erzeugte Dampf

20 noch einen Anteil von 20% bis 30% an nicht umgesetzten Ausgangsstoffen Wasserstoff und Sauerstoff enthält.

Für zahlreiche Anwendungsfälle, gerade der experimentellen Physik, ist ein so hoher Anteil an Unverbranntem nicht tolerierbar.

Nun ist es zwar naheliegend, durch besondere Massnahmen der Prozessfüh-

25 rung, beispielsweise hinsichtlich der Eindüsung des Wassers in die Heissgase, diesen Quencheffekt etwas abzudämpfen und damit einen höheren Umsetzungsgrad der Oxidationsreaktion zu erreichen.

Dennoch genügt der erzeugte Dampf in vielen Fällen, beispielsweise für die Untersuchung von Verbrennungsvorgängen unter Dampfatmosphäre, nicht den

geforderten höchsten Reinheitsgraden, so dass dieser Technologie zahlreiche potentielle Anwendungsgebiete des Einsatzes von Reinstdampf verschlossen bleiben.

5

## DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zu-  
grunde, ein Verfahren zum Erzeugen von Dampf höchster Reinheit zu schaffen,  
welches in einem sehr grossen Druck- und Temperaturbereich variiert werden  
kann.

Des weiteren liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen mit geringem inve-  
stiven Aufwand zu erstellenden Dampferzeuger bereitzustellen, der unter allen  
Bedingungen eine vollständige Umsetzung des Reaktionsgemischs gewährlei-  
stet.

15

Erfindungsgemäss wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren und einen  
Dampferzeuger der in den unabhängigen Ansprüchen 1 und 11 genannten Art.  
Vorteilhafte Ausführungsformen geben die abhängigen Ansprüche wieder.

20

Der Grundgedanke der Erfindung besteht darin, zum Zwecke der Sicherstellung  
einer vollständigen Umsetzung der Ausgangsstoffe die exotherme Reaktion zur  
Bereitstellung der Verdampfungs- und Überhitzungswärme als zweistufigen Pro-  
zess zu gestalten.

25

In vorteilhafter Weise gelingt dies mit Hilfe eines Verfahrens zur Erzeugung von  
Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf, durch exotherme Reaktion  
eines Brennstoffs und eines Oxidators und anschliessende Kühlung durch Was-

serzugabe dadurch, dass das heisse wasserdampfhaltige Reaktionsgemisch stromab der Reaktions- und Verdampfungszone katalytisch nachverbrannt wird. In einer bevorzugten Ausführungsart durchströmt das Reaktionsgemisch eine gasdurchlässige Struktur (nachfolgend Durchströmkörper), die mit einer katalytisch wirksamen Oberfläche, beispielsweise Platin, ausgerüstet ist.

Für die Erzeugung von Reinstwasserdampf sind Sauerstoff der bevorzugte Oxidator und Wasserstoff der bevorzugte Brennstoff.

Als eine alternativer Oxidator bietet sich Wasserstoffperoxid an. Dies insbesondere im Hinblick auf solche Einsatzfälle des erzeugten Reinstdampfes, die zuverlässig auch geringste Spuren von Sauerstoff ausschliessen sollen.

Für solche Anwendungsfälle des erzeugten Dampfs, in denen ein Anteil von Inerten im Dampf zulässig ist, können nach der Erfindung der Brennstoff Wasserstoff vollständig oder teilweise durch gasförmige oder flüssige Kohlenwasserstoffe, insbesondere durch Erdgas, und der Oxidator Sauerstoff durch sauerstoffangereicherte Luft ersetzt werden.

Zur Überwachung der Funktionsfähigkeit und Wirksamkeit des Verfahrens ist der Stufe der katalytischen Nachverbrennung eine Lambdasonde zur Erfassung des Sauerstoffgehalts nachgeschaltet.

Ein Dampferzeuger zur Erzeugung von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf, mindestens umfassend eine Brenn- und Verdampfungskammer mit einer Reaktionszone zur exothermen Reaktion eines Brennstoffs und eines Oxidators und einer Verdampfungszone zum Verdampfen und/oder Überhitzen einer in die heissen Reaktionsgase eingedüsten Wassermenge zeichnet sich dadurch aus, dass der Brenn- und Verdampfungskammer eine katalytische Nachbrennkammer nachgeordnet ist.

In vorzugsweiser Ausgestaltung ist die katalytische Nachbrennkammer als ein zylindrisches Rohr ausgebildet, dessen freier Strömungsquerschnitt in einem Bereich seiner axialen Länge von einem Durchströmkörper mit einer katalytisch wirksamen Oberfläche beaufschlagt ist.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform basiert der Durchströmkörper dabei auf einem geschäumten Metall- oder einem geschäumten Keramikwerkstoff als Substrat.

Alternativ zeigen auch wabenartige oder ähnliche vielzellige Strukturen gute Er-

10 gebnisse, sofern sie den durchströmenden Reaktionsgasen genügend wirksame Oberfläche bieten.

Der Katalysator ist dabei als Überzug auf das Substrat aufgebracht oder bei ei-  
ner porösen Oberfläche desselben darin eingelagert.

15 In einer zweckmässigen Ergänzung der Erfindung besteht die Nachbrennkam-  
mer aus einem Doppelmantelrohr, welches Kühlkanäle zur indirekten Kühlung  
mittels eines durchströmenden Fluids besitzt.

Zur Verhinderung der Kondensatbildung an der Kammerwandung hat es sich  
dabei als zweckmässig erwiesen, ein gasförmiges Kühlmedium einzusetzen.

20

Mit Hilfe der Erfindung ist es nunmehr möglich, mit einem vergleichsweise gerin-  
gen technischen Aufwand Wasserdampf höchster Reinheit, das heisst mit einer  
Reinheit von über 99,9%, zu erzeugen.

25

Die Fähigkeit, ein derart reines Dampfgemisch zu erzeugen in Verbindung mit  
der hohen Flexibilität des Dampferzeugers im Hinblick auf die Prozessparameter  
Durchsatz, Temperatur und Druck eröffnen der Technologie des superheissen  
hochreinen Wasserdampfes neue Einsatzgebiete in Forschung und Technik,

beispielsweise die Untersuchung von Verbrennungsvorgängen unter Dampfatmosphäre, die Sondermüllbehandlung oder Technologien der emissionsfreien Energieumwandlung.

- 5 Aufgrund seines modularen Aufbaus kann der erfindungsgemäße Dampferzeuger mit geringem apparativen Aufwand an die Erfordernisse unterschiedlicher Einsatzfälle angepasst werden. Er ist wartungsarm und montagefreundlich und zeichnet sich durch einen geringen Investitionsaufwand und niedrige Betriebskosten aus. Er kann sowohl in einem grosstechnischen Rahmen, wie auch für Anwendungen im Labormassstab erstellt werden.

10 Neben dem einfachen Aufbau sind auch die hohe Flexibilität im Hinblick auf die Prozess- und Leistungsparameter Durchsatz, Druck und Temperatur und die Verfügbarkeit der Anlage hervorzuheben.

Der Dampferzeuger eignet sich für einen kontinuierlichen Betrieb, aufgrund seiner kurzen Ansprechzeiten aber insbesondere auch für einen intermittierenden Betrieb, da er innerhalb kürzester Zeit nach der Zündung einen stationären Betriebszustand erreicht. Die Reaktionszeiten auf Änderungen der Prozessparameter sind außerordentlich kurz.

15 Ein weiterer Vorteil ist in der Möglichkeit zu sehen, zur Gasanalyse eine handelsübliche Lambdasonde einzusetzen.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

- 20 Weitere Merkmale, Vorteile und Einzelheiten der Erfindung seien nachfolgend anhand der Zeichnungen erläutert. Es werden nur die für die Erfindung wesentlichen Elementen dargestellt. Gleiche oder einander entsprechende Elemente figurieren unter demselben Bezugszeichen.

Hierbei zeigen

Fig.1 schematische Darstellung eines Dampferzeugers

Fig.2 Anordnung einer Lambdasonde in der Nachbrennkammer

Fig.3 Verfahrensschema

5

## WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

- 10 Fig.1 gibt in stark schematisierter Weise den prinzipiellen Aufbau eines erfundungsgemäßen Dampferzeugers wieder, im wesentlichen bestehend aus den drei modulartig zusammengesetzten Hauptkomponenten Pilotzündkammer (1), Brenn- und Verdampfungskammer (2) mit Reaktionszone (14), Verdampfungszone 15 und Austrittsdüse (7), sowie katalytische Nachbrennkammer (3). Darüber hinaus sind die Zuführeinrichtungen für einen Brennstoff (4), einen Oxidator 15 (5) und Wasser (6) zu erkennen.
- Ein Gehäusemantel (8) umschliesst eine im wesentlichen rotationssymmetrische Brenn- und Verdampfungskammer (2). An einer Stirnseite, welche im Betriebszustand stromauf liegt, weist die Brenn- und Verdampfungskammer (2) konzentrische Einlassöffnungen (10;11) für den Brennstoff (4) und den Oxidator (5) auf.
- 20 Eine im Hinblick auf einen stöchiometrischen Verbrennungsvorgang günstige Ausgestaltung der konzentrischen Einlassöffnungen (10;11) besteht in einer inneren zylindrischen Öffnung (10) für den Oxidator und einer äusseren ringförmigen Öffnung (11) für den Brennstoff.
- An einer zweiten, stromabwärts gelegenen Stirnseite besitzt die Reaktions- und 25 Verdampfungskammer (2) einen Dampfauslass mit einer düsenartigen Verjüngung (7).
- In axialem Abstand stromab von der ersten Stirnseite besitzt die Brennkammerwand (13) eine Anzahl von über den Umfang verteilten Eintrittsöffnungen (12) für das zu verdampfende Wasser (6). Die Eintrittsöffnungen (12) können dabei in

einer oder in mehreren axialen Ebenen angeordnet sein, wobei in letzterem Falle die Einlassöffnungen (12) unterschiedlicher Ebenen zueinander versetzt angeordnet sein können. Es ist keineswegs zwingend, die Einlassöffnungen (12) senkrecht zum Verlauf der Innenkontur (13) der Verdampfungszone (15) anzurichten. Um einerseits eine gleichmässige Beladung der heissen Reaktionsgase und eine gute Durchmischung zu erzielen und andererseits eine Kühlwirkung auf die Gehäuseinnenwandung (13) wenigstens in dem Bereich der Verdampfungszone (15) auszuüben, können die Einlassöffnungen (12) sowohl in radialer wie auch in axialer Richtung geneigt die Wandung (13) durchstossen.

10 Zur Kühlung ist der Gehäusemantel (8) mit Kanälen (9) für ein Kühlmedium ausgestattet. Nach einer günstigen Ausführungsform der Erfindung können diese Kühlkanäle (9), vollständig oder teilweise, von dem in die Brenn- und Verdampfungskammer (2) einzuleitenden Wasser (6) beaufschlagt werden und damit zur Vorwärmung des zu verdampfenden Wassers, gegebenenfalls auch unter Bildung eines Zweiphasengemisches oder bis über den Verdampfungspunkt hinaus, herangezogen werden. Dies erhöht den Wirkungsgrad, indem die abgeführte Wärmeenergie in den Prozess zurückgeführt wird.

15 Ausgangs der Brenn- und Verdampfungskammer (2) verengt sich der Strömungsquerschnitt zu einer Austrittsdüse (7), in der das abströmende Reaktionsgemisch stark beschleunigt wird, vorzugsweise auf eine Strömungsgeschwindigkeit oberhalb der Schallgeschwindigkeit.

20 Aus dieser Massnahme resultieren verschiedene Wirkungen. Zum einen baut die Drosselstelle (7) den Druck in der Brenn- und Verdampfungskammer (2) auf.

25 Außerdem wird eine Barriere geschaffen zur Abkopplung der Brenn- und Verdampfungskammer (2) von Druckschwankungen in nachgeschalteten Anlagen, insbesondere dem nachfolgenden Dampfverbraucher, so dass diese nicht die Reaktionszone stören und unter Umständen zur Reaktionsratenschwankungen

od. ä. führen. Und schliesslich fördern die Beschleunigung und die anschliessende Verzögerung die Homogenisierung der Phasen des Reaktionsgemischs. Zur Nachbrennkammer (3) hin erweitert sich der Strömungsquerschnitt wiederum stetig oder in mehreren Stufen, um das Reaktionsgemisch auf eine für das Passieren des katalytisch wirksamen Durchströmkörpers (16) und die Auslösung einer katalytischen Oxidationsreaktion geeignete Strömungsgeschwindigkeit zu verzögern.

Die Pilotbrennkammer (1) steht mit der Brenn- und Verdampfungskammer (2) in Verbindung. Sie umfasst Zuführeinrichtungen für den Brennstoff (4) und den Oxidator (5) sowie eine elektrische Zündeinrichtung (17) zum Entzünden des Gemischs sowie eine Lanze (18) zur Einleitung der gezündeten Heissgase in die Reaktionszone (14) der Brenn- und Verdampfungskammer (2). Darüber hinaus beherbergt sie Zuführeinrichtungen für Inerte (19) zur Spülung der Anlage vor dem Anfahren und nach dem Abschalten.

Die Nachbrennkammer (3) umfasst im wesentlichen ein rotationssymmetrisches Gehäuse (20) in Form eines Doppelmantelrohrs mit einem den freien Strömungsquerschnitt (21) vollständig beaufschlagenden gasdurchlässigen Durchströmkörper (16) mit katalytisch wirksamer Oberfläche, beispielsweise basierend auf einem Substrat aus geschäumtem Metallwerkstoff mit einer Platinoberfläche.

Prinzipiell kommen als Katalysator alle den Verbrennungsvorgang fördernden Materialien in Frage, wie Edelmetalle (Pd, Pt, Rh usw.), Metalloxide ( $MnO_2$ , NiO usw.), allein oder in Mischung mit einem Kokatalysator.

Obgleich prinzipiell eine Vielzahl an sich bekannter hochtemperaturbeständiger metallischer und keramischer Werkstoffe als Substrat für diesen Einsatzzweck in Frage kommt, werden metallische Werkstoffe den Anforderungen im Hinblick auf Schwingungsreduzierung und Trägereigenschaften für Katalysatoren am besten

gerecht. Gute Ergebnisse wurden mit Materialien auf der Basis aluminiumhaltiger oder aluminiumbehandelter Eisen- oder Stahllegierungen erzielt. Enthalten diese Materialien einen genügend hohen Anteil an Aluminium, so bilden sich bei der Oxidation auf der Oberfläche Aluminium-Whisker aus, die eine rauhe und chemisch aktive Oberfläche entstehen lassen, welche sich sehr gut als Träger für ein katalytisch wirksames Überzugsmaterial eignet.

Nach einer alternativen günstigen Ausführungsvariante ist das metallische Substrat ein Stahlgewebe, welches mit einem porösen keramischen Material überzogen ist, das das Katalysatormaterial enthält.

10

Die Verbindung des Durchströmkörpers (16) mit der umgebenden Gehäusewandung kann in jeder geeigneten Weise erfolgen. In Abhängigkeit von den konkreten Bedingungen des Anwendungsfalls erschliesst sich dem Fachmann eine Reihe von Möglichkeiten.

15

Es hat sich gezeigt, dass durch den sich über den gesamten Querschnitt erstreckenden Strukturkörper (16) Druckwellen gedämpft werden und damit ein zusätzlicher Beitrag geleistet wird, die Auswirkungen von Druckwellen aus nachgeschalteten Anlagen auf die Reaktionszone zu minimieren und Reaktionsraten-schwankungen zu unterbinden.

20

Zur Überwachung der Funktionstüchtigkeit des Dampferzeugers ist innerhalb der Nachbrennkammer () nach dem Durchströmkörper (16) eine Gasanalyseeinrich-tung (22) zur Erfassung des Sauerstoffgehalts nachgeordnet.

25

Die Erfindung gestattet es, hierfür eine kommerziell erhältliche Lambdasonde (22) einzusetzen. Dies ist ein wesentlicher Vorteil, auf eine einfache und bewährte Technologie zurückgreifen zu können. Eine Lambdasonde (22) reagiert aus physikalischen Gründen auf Wasserstoff sensitiver als auf Sauerstoff. Nach der herkömmlichen Technologie verbietet sich daher deren Einsatz, da ein effek-

tiver Überschuss an Sauerstoff von dem vorhandenen Wasserstoff überdeckt würde und somit zu unbrauchbaren Ergebnissen führe.

Nach einer ersten Ausführungsform für Anwendungsfälle der Bereitstellung von Dampf bei im wesentlichen Atmosphärendruck ist die Lambdasonde (22) in an sich bekannter Weise im Strömungskanal (21) angeordnet, um von dem strömenden Reaktionsgemisch umspült zu werden.

Da Lambdasonden nicht für den Einsatz unter Überdruckbedingungen geeignet sind, sieht eine alternative, in Fig.2 wiedergebene Ausführungsform vor, in eine Durchgangsöffnung der Gehäusewand (20) der Nachbrennkammer (3) ein Entnahmerohr (23) einzubringen, welches Entnahmerohr (23) zu dem Strömungskanal (21) hin gasdurchlässig ausgebildet ist und ausserhalb des Gehäusemantels (20) über eine Druckentspannungseinrichtung, wie ein Druckreduzierventil (24), mit einer Kammer (25) kommuniziert, welche die Lambdasonde (22), aufnimmt.

15

Das Gehäuse (20) der Nachbrennkammer (3) ist indirekt gekühlt. Um an der Innenwandung eine Kondensatbildung zu unterbinden, erfolgt die Mantelkühlung vorzugsweise mit einem gasförmigen Kühlmedium (26), insbesondere Luft, die einen Kühlkanal (29) durchströmt. An geeigneter Stelle sind entsprechende Zu- und Abführstutzen (27;28) installiert.

20

Nachstehend ist die Funktionsweise eines mit Wasserstoff und Sauerstoff betriebenen Dampferzeugers zur Erzeugung von Reinstwasserdampf anhand von Fig.3 dargelegt.

In der Reaktionszone (14) findet eine stationäre Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasserdampf statt. Die theoretisch erreichbare Verbrennungs-temperatur liegt bei etwa 3000K. Zwecks Kühlung wird demineralisiertes Wasser eingedüst, welches dabei verdampft und überhitzt. Zur Erhöhung der Dampfrein-

heit werden die nicht umgesetzten Bestandteile des Reaktionsgemischs katalytisch nachverbrannt.

Ein Sauerstoffstrom (5) und ein Wasserstoffstrom (4) werden im stöchiometrischen Verhältnis in einer inneren Zylinderströmung und in einer äusseren

- 5 Ringströmung über die Einlassöffnungen (10) und (11) in den stromaufwärtigen Bereich der Brenn- und Verdampfungskammer (2), die Reaktionszone (14), eingedüst.

Zur Zündung des Dampferzeugers werden je ein Teilstrom des Wasserstoffs und des Sauerstoffs durch die Pilotzündkammer (1) geführt und dort mittels der elektrischen Zündeinrichtung (17) gezündet. Die expandierenden heissen Reaktions-

- 10 gase entweichen durch die Lanze (18) in die Reaktionszone (14) der Brenn- und Verdampfungskammer (2) und zünden dort das eingeleitete Wasserstoff-/Sauerstoff-Gemisch unter Bildung von hoch erhitztem Wasserdampf.

Nach Beendigung des Startvorgangs wird die Pilotzündkammer (1) abgeschaltet.

15

Der in der Reaktionszone (14) gebildete, hoch erhitzte, expandierende Wasserdampf wird in der Verdampfungszone (15) durch Eindüsen einer Menge demineralisierten Wassers abgekühlt. Aus dem Verhältnis des Massenstroms an zugesetztem Wasser zu den Massenströmen an eingesetztem Wasserstoff und Sauerstoff resultiert die Temperatur des erzeugten Wasserdampfs. Je weniger Wasser eingedüst wird, desto höher ist die Temperatur des erzeugten Dampfs. Die Menge an zugesetztem Wasser hängt damit von den Anforderungen des Verbrauchers ab, aber auch vom aktiven Temperaturbereich der nachgesetzten katalytisch aktiven Struktur.

20

25 Je nach Verweildauer beträgt der Umsatz in der Reaktionszone (14) etwa 70% bis 80%. Ausgangs der Verdampfungszone (15) liegt demnach ein Gemisch aus Wasserdampf mit Anteilen an nicht umgesetztem Wasserstoff und Sauerstoff und nicht verdampften Wasserpartikeln vor.

Dieses abströmende Reaktionsgemisch wird ausgangs der Brenn- und Verdampfungskammer (2) in dem sich verengenden Strömungsquerschnitt der Ausstromdüse (7) auf Schallgeschwindigkeit beschleunigt und anschliessend in mehreren Schritten wieder verzögert auf eine für die katalytische Oxidationsreaktion

- 5 geeignete Strömungsgeschwindigkeit. Die turbulente, ihre Geschwindigkeit variierende Strömung fördert die Verdampfung letzter Wasserpartikel und die Homogenisierung des Reaktionsgemischs.

Im weiteren Verlauf wird das weitgehend homogene Gemisch durch den den Strömungsquerschnitt vollständig überdeckenden Durchströmkörper (16), wel-

- 10 cher in diesem Falle ein geschäumtes Metallsubstrat mit katalytisch aktiver Oberfläche aus Platin ist, geleitet. Durch Kontakt mit den katalytisch wirksamen Oberflächen wird der restliche Anteil an Unverbranntem praktisch vollständig umgesetzt.

Bemerkenswert ist, dass dabei aufgrund der exothermen Reaktion nochmals

- 15 eine Überhitzung des Wasserdampfs eintritt. Die Erfahrung zeigt, dass etwa  $\frac{3}{4}$  der thermischen Leistung in der Reaktionszone (14) der Brenn- und Verdampfungskammer (2) und etwa  $\frac{1}{4}$  durch die katalytische Nachverbrennung erbracht werden.

Die katalytische Nachbrennkammer (3) verlässt ein Reinstdampf in einem Temperaturbereich von 500 K bis 2000 K, einem Druckbereich von 1 bar bis 30 bar und einer Dampfreinheit von über 99,9 Gew%. Der durchgesetzte Massenstrom ist ebenfalls sehr flexibel und hängt wesentlich von der gewählten Auslegung der Anlage ab.

- 20 Temperatur, Druck und Durchsatz können unabhängig voneinander eingestellt werden. Ein Hoch- und Herunterfahren der Anlage ist ohne zeitliche Verzögerung möglich. Die Anlage kann sehr kompakt ausgeführt sein und ist damit selbst unter begrenzten Raumverhältnissen eines Labors einsetzbar.

Die vorstehenden Darlegungen zu einem Ausführungsbeispiel sind keineswegs in einem einschränkenden Sinne zu verstehen. Im Gegenteil, sie sind instruktiv als Abriss der Mannigfaltigkeit der Erfindungen im Rahmen dieses Schutzbegehrens zu verstehen.

- 5 Insbesondere ist es nicht zwingend erforderlich, dass Reaktions- und Verdampfungskammer einen gemeinsamen Hohlraum innerhalb eines gemeinsamen Gehäuses bilden. Dies ist lediglich zweckmässig. Selbstverständlich ist es denkbar, diese Verfahrensschritte räumlich zu entkoppeln und die Reaktions- und Verdampfungskammer getrennt innerhalb eines gemeinsamen oder innerhalb verschiedener Gehäuse unterzubringen.
- 10 Ebenso ist es natürlich denkbar, die Funktion der Pilotzündanlage innerhalb der Reaktionskammer zu realisieren, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

## BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Pilotzündkammer
- 2 Brenn- und Verdampfungskammer
- 5 3 Nachbrennkammer
- 4 Brennstoff
- 5 Oxidator
- 6 Wasser
- 7 Austrittsdüse
- 10 8 Brennkammergehäuse
- 9 Kühlmittelkanal
- 10 Einlassöffnung für Oxidator
- 11 Einlassöffnung für Brennstoff
- 12 Einlassöffnung für Wasser
- 15 13 Innenwandung der Brennkammer
- 14 Reaktionszone
- 15 Verdampfungszone
- 16 katalytisch wirksamer Durchströmkörper
- 17 Zündkerze
- 20 18 Lanze
- 19 Inerte
- 20 Gehäuse der Nachbrennkammer
- 21 Strömungsquerschnitt
- 22 Gasanalyseeinrichtung, nämlich Lambdasonde
- 25 23 Entnahmerohr
- 24 Druckreduzierventil
- 25 Kammer für Lambdasonde
- 26 Kühlmedium für Nachbrennkammer
- 27 Eintrittsstutzen für Kühlmedium

- 28 Austrittsstutzen für Kühlmedium
- 29 Kühlmittelkanal

## PATENTANSPRÜCHE

- 5 1. Verfahren zum Erzeugen von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf, durch Einleiten eines Brennstoffs und eines Oxidators in einem stöchiometrischen Verhältnis in eine Reaktionszone und deren exotherme Umsetzung, überführen der gebildeten heißen Reaktionsgase in eine Verdampfungszone, Einleiten von Wasser in flüssiger und/oder dampfförmiger Form in die Verdampfungszone, wobei das eingeleitete Wasser unter Durchmischung mit den heißen Reaktionsgasen verdampft und/oder überhitzt wird, dadurch gekennzeichnet, dass das wasserhaltige Reaktionsgemisch katalytisch nachverbrannt wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das wasserdampfhaltige Reaktionsgemisch eine gasdurchlässige Struktur mit einer katalytisch wirksamen Oberfläche durchströmt.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die gasdurchlässige Struktur ein geschäumter metallischer oder keramischer Werkstoff ist.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass katalytisch wirksame Oberfläche Platin ist.
- 25 5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das wasserdampfhaltige Reaktionsgemisch die Verdampfungszone über eine Drosselstelle verlässt und dabei beschleunigt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Reaktionsgemisch auf Schallgeschwindigkeit beschleunigt wird.

5        7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Oxidator Sauerstoff ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Oxidator Wasserstoffperoxid ist.

10      9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennstoff Wasserstoff ist.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennstoff ein Kohlenwasserstoff ist.

15

11. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennstoff Erdgas ist.

20      12. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 – 9 zur Erzeugung von Reinstwasserdampf mit einem Wasserdampfgehalt von mindestens 99,9 Gew%, einer Temperatur von bis zu 2000 K und einem Druck von bis zu 30 bar.

25      13. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 – 11 zur Erzeugung von Dampf als Arbeitsmedium in einem CO<sub>2</sub>-emissionsfreien Energieumwandlungsprozess.

14. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 – 11 zur Erzeugung von Dampf zur Sondermüllbehandlung.

15. Dampferzeuger zur Erzeugung von Wasserdampf, insbesondere von Reinstwasserdampf, im wesentlichen umfassend eine Brenn- und Verdampfungskammer (2) mit einer Reaktionszone (14) zur exothermen Reaktion eines Brennstoffs und eines Oxidators und einer Verdampfungszone (15) zur Verdampfung und/oder Überhitzung einer eingedüsten Wassermenge, eine Zuführeinrichtung für den Brennstoff (4) und den Oxidator (5) in die Reaktionszone (14), eine Zündeinrichtung (1) zur Zündung wenigstens eines Teils des Brennstoff-/Oxidator-Gemischs, eine Zuführeinrichtung (12) für Wasser (6) in die Verdampfungszone (15) sowie eine Austrittsdüse (7) für das wasserdampfhaltige Reaktionsgemisch, dadurch gekennzeichnet, dass stromab der Reaktions- und Verdampfungskammer (2) eine katalytische Nachbrennkammer (3) angeordnet ist.
- 15 16. Dampferzeuger nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die katalytische Nachbrennkammer (3) als ein Gehäuse (20) ausgebildet ist, dessen freier Strömungsquerschnitt (21) in einem Bereich seiner axialen Länge von einem Durchströmkörper (16) mit einer katalytisch wirksamen Oberfläche beaufschlagt ist.
17. Dampferzeuger nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Strömungskanal (21) der Nachbrennkammer (3) im wesentlichen zylindrisch ausgebildet ist.
- 25 18. Dampferzeuger nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse (20) als Doppelmantelrohr ausgebildet ist.
19. Dampferzeuger nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse (20) der Nachbrennkammer (3) luftgekühlt ist.

20. Dampferzeuger nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchströmkörper (16) auf einem geschäumten Metall- oder auf einem geschäumten Keramikwerkstoff basiert.

5

21. Dampferzeuger nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchströmkörper (16) auf einer metallischen oder keramischen Wabenstruktur basiert.

10

22. Dampferzeuger nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass stromab des Durchströmkörpers eine Gasanalyseeinrichtung (22) angeordnet ist.

15

23. Dampferzeuger nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb des Strömungskanals (21) eine Lambdasonde (22) angeordnet ist.

24. Dampferzeuger nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse der Nachbrennkammer (3) eine Durchgangsöffnung für ein Entnahmerohr (23) aufweist, welches Entnahmerohr (23) zu dem Strömungskanal (21) hin gasdurchlässig ausgebildet ist und ausserhalb des Gehäuses (20) über eine Druckentspannungseinrichtung (24) mit einer Kammer (25) kommuniziert, welche eine Gasanalyseeinrichtung, insbesondere eine Lambdasonde (22), aufnimmt.

25

## ZUSAMMENFASSUNG

Verfahren zum Erzeugen von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf, sowie Dampferzeuger

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und einen Dampferzeuger zum Erzeugen von Wasserdampf, insbesondere Reinstwasserdampf, durch Reaktion eines stöchiometrischen Gemisches aus einem Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, und einem Oxidator, insbesondere Sauerstoff, und Eindüsen von Wasser in die heissen Reaktionsgase, das sich durch eine hohe Reinheit des erzeugten Wasserdampfes auszeichnet.

Die Aufgabe, ein Verfahren zum Erzeugen eines Dampfes höchster Reinheit bereitzustellen, wird erfindungsgemäss durch eine zweistufige Verbrennung dergestalt gelöst, dass das in einer ersten Brenn- und Verdampfungsstufe erzeugte

15 Reaktionsgemisch einer katalytischen Nachverbrennung unterzogen wird.

Ein Dampferzeuger zeichnet sich dadurch aus, dass stromab der Brenn und Verdampfungskammer (2) eine katalytische Nachbrennkammer (3) mit einem Durchströmkörper (16) angeordnet ist.

20

Figur 1

1 / 3

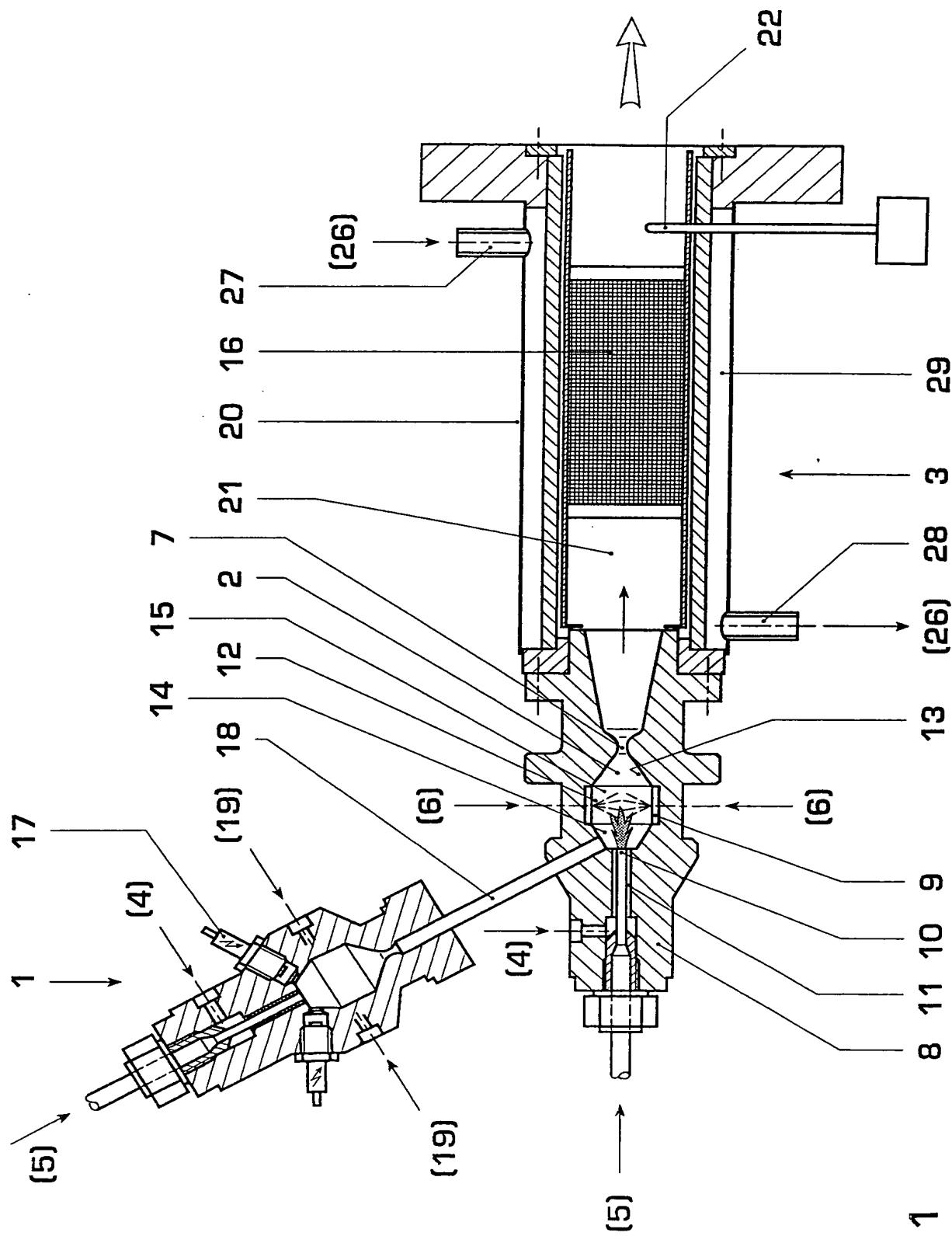


Fig. 1

2 / 3

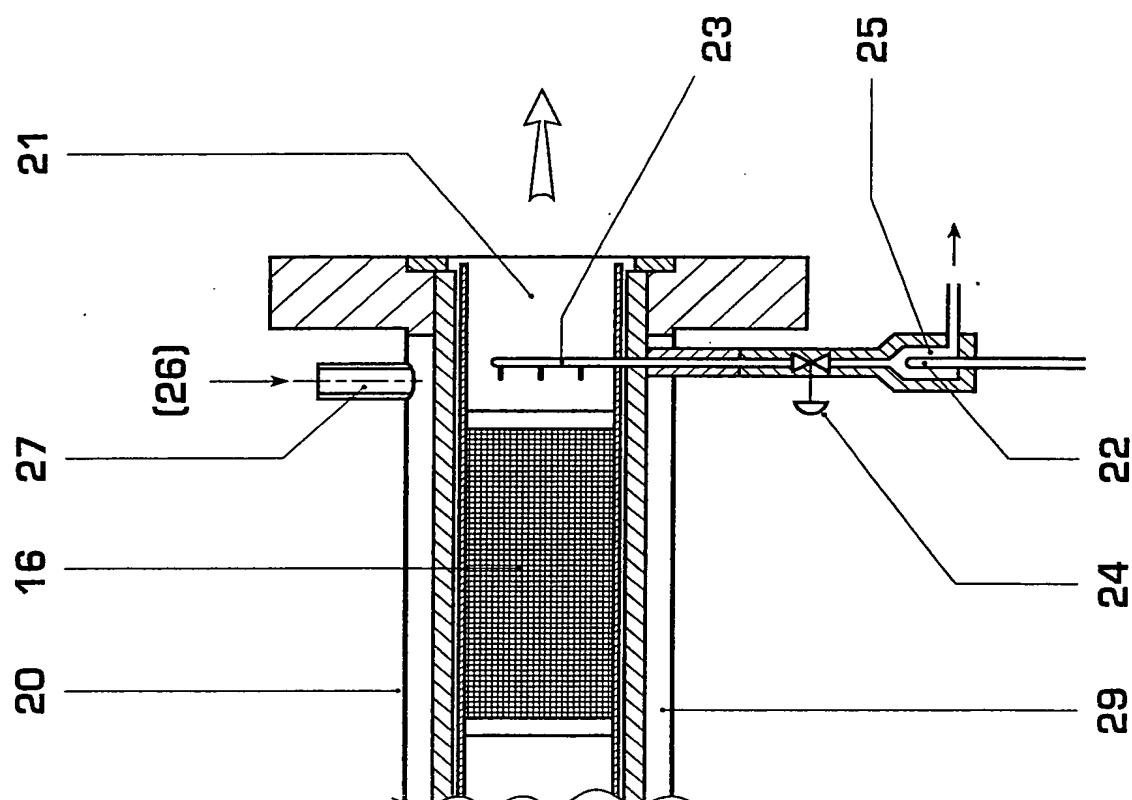


Fig. 2

3 / 3

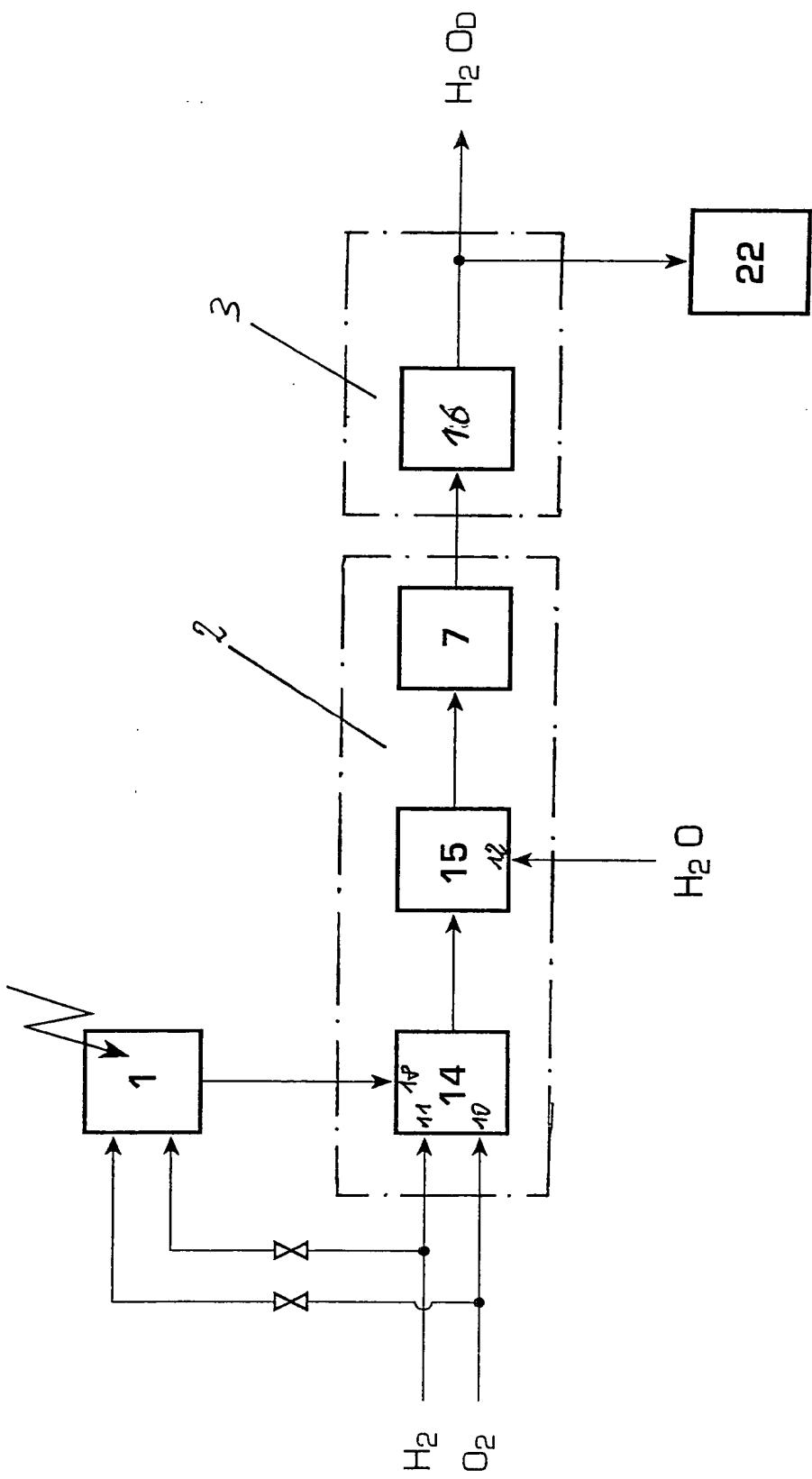


Fig. 3